

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique  
جامعة سعد دحلب البليدة (1)  
Université SAAD Dahleb\_blida 1



Faculté des Sciences de la Technologie  
Département de Mécanique

**Mémoire de fin d'études**  
**Pour l'obtention du diplôme de Master en énergétiques**  
Filière : Sciences technologie  
Option : énergétique  
**Mur de Trombe**

**Promoteur :**

**Laafer abdelkader**

**Réaliser par :**

**Belmokhtar mohamed**

**Bennacer abdellah**

**Année universitaire : 2022/2023**

## REMERCIEMENTS

*Gloire soit rendu au Dieu tout puissant créateur de toutes choses, le très miséricordieux pour tous ses bienfaits dont il nous a comblé et de nous a avoir donné le courage et la force pour réaliser ce modeste travail*

*Nous tenons à remercier en premier lieu notre promoteur  
Mr. LAAFER ABDELKADER*

*pour son orientation et sa patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.*

*Nos remerciements s'étendent également aux membres de jury,*

*qui nous font l'honneur d'accepter et de juger ce travail, d'apporter leurs réflexions et leurs critiques scientifiques.*

*Enfin, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à nos*

*très chères familles et aussi nos enseignants du département de*

*Génie mécanique qui nous ont soutenus dans la poursuite de nos études.*

## **DÉDICACE**

*Afin d'être reconnaissant envers ceux qui m'ont appuyé et  
encouragé à effectuer ce travail de recherche,*

*Je dédie ce mémoire :*

*À ma très chère mère et à mon très cher père qui n'ont cessé  
de*

*me combler par leur amour, leur soutien, leur tendresse et  
leur*

*encouragement.*

*À mon cher frère*

*source de soutien.*

*À tous la famille sans aucune exception.*

*À tous mes amis et collègues et toute la promotion EG en  
particulier.*

*À tout mes professeurs et enseignants.*

*À mon ami et binome Mohamed et toute sa famille.*

*Et à tous ceux que ma réussite leur tient à cœur.*

**ABDELLAH BENNACER.**

## **DÉDICACE**

*En guise de reconnaissance, je tiens à dédier ce mémoire :*

*À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices,  
leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes études,  
À ma sœur et mon frère pour leurs humours cyniques et  
uniques*

*À mon binôme ABDELLAH pour sa patience et  
compréhension tout au long de ce projet*

*À toute la promotion EG*

*À mes professeurs et enseignants*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant  
allégués, et le fruit de votre soutien infailible*

**BELMOKHTAR MOHAMED**

## **RÉSUMER**

*Le secteur du bâtiment est à l'origine de 45% de la consommation énergétique en Algérie, parce qu'il cherche toujours à répondre aux besoins des occupants. Dans le contexte actuel, l'énergie solaire est l'alternative la plus intéressante et la plus avantageuse. Notre objectif est de l'utiliser dans l'habitat .Au cœur de ce dernier, le mur trombe pourrait jouer un rôle majeur grâce à sa capacité à capter la chaleur du soleil et à la restituer de manière uniforme à l'intérieur de la maison, c'est l'un des systèmes les plus efficaces pour le chauffage passif des locaux.*

*Le but de ce travail est de :*

- Evaluer le confort thermique dans un habitat.*
- D'effectuer une nouvelle recherche dans le domaine du chauffage solaire passif et actif en étudiant le comportement thermodynamique de mur capteur solaire (mur trombe).*
- Essayer d'encourager l'étude et la construction de maisons qui utilisent l'énergie solaire.*

*Une réalisation a été faite pour étudier qualitativement l'aspect dynamique et thermique de mur trombe dans le but de déterminer besoins en chauffage d'un habitat.*

*Mot-clé: Energie solaire, mur Trombe, confort thermique, capteurs solaires, simulation numérique.*

## ملخص دراسة تأثير جدار ترومب على توزيع الهواء

قطاع البناء هو المسؤول عن 45٪ من استهلاك الطاقة في الجزائر، لأنه يسعى دائماً لتلبية احتياجات السكان.

في السياق الحالي، تعتبر الطاقة الشمسية البديل الأكثر إثارة للاهتمام والمفيدة. هدفنا هو استخدامها في المساكن. يمكن أن يلعب جدار ترومب دوراً رئيسياً في هذا الصدد بفضل قدرته على امتصاص حرارة الشمس وتوزيعها بشكل متساوٍ في داخل المنزل، حيث يُعتبر أحد أنظمة التدفئة السلبية الأكثر كفاءة للمباني.

هدف هذا العمل هو:

تقييم الراحة الحرارية في المساكن

إجراء بحث جديد في مجال التدفئة الشمسية السلبية والنشطة من خلال دراسة السلوك الحراري لجدار الاستشعار الشمسي (جدار ترومب)

محاولة تشجيع دراسة وبناء المنازل التي تستخدم الطاقة الشمسية

تم إجراء دراسة لتقييم الجانب الديناميكي والحراري لجدار ترومب بهدف تحديد احتياجات التدفئة في المساكن

كلمات مفتاحية: الطاقة الشمسية، جدار ترومب، الراحة الحرارية، أجهزة استشعار شمسية، محاكاة رقمية

## SUMMURY

*The construction sector accounts for 45% of energy consumption in Algeria, as it constantly seeks to meet the needs of occupants. In the current context, solar energy is the most interesting and advantageous alternative. Our goal is to utilize it in housing. At the heart of this, the Trombe wall could play a major role due to its ability to capture solar heat and evenly distribute it inside the house, making it one of the most efficient systems for passive heating of spaces.*

*The aim of this work is to:*

- Evaluate thermal comfort in a dwelling.*
- Conduct new research in the field of passive and active solar heating by studying the thermodynamic behavior of a solar collector wall (Trombe wall).*
- Encourage the study and construction of houses that utilize solar energy.*

*Keywords: Solar energy, Trombe wall, thermal comfort, solar collectors, numerical simulation.*

# TABLE DES MATIÈRES

<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>i</b>
<b>DEDICACE.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICACE.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMÈ.....</b>	<b>iv</b>
<b>ملخص.....</b>	<b>v</b>
<b>SUMMURY.....</b>	<b>vi</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTE DES ACRONYMES ET NOMENCLATURE.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTE DES FIGURE.....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>xviii</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : notions sur le confort dans un habitat et l'efficacite energetique.....</b>	<b>3</b>
1.1 introduction.....	4
1.2 L'efficacité énergétique dans un habitat.....	4
1.2.1 Pourquoi l'efficacité énergétique est-elle nécessaire ?.....	4
1.3 Confort dans un habitat .....	4
1.3.1 Définition du confort .....	4
1.3.2 Le confort thermique dans un habitat .....	5
1.3.2.1 Définition.....	5
1.3.2.2 Température légal dans un habitat.....	5
1.3.2.3 Différents facteurs agissant sur le confort thermique .....	6
1.3.2.3.1 L'orientation.....	6
1.3.2.3.2 La ventilation naturelle.....	7



1.3.2.3.3 Dimension et ouvertures.....	7
1.3.2.4 Facteurs ayant une incidence sur le confort thermique.....	8
1.3.2.4.1 Température de l'air.....	8
1.3.2.4.2 Humidité de l'air.....	8
1.3.2.4.3 Courants d'air.....	8
1.3.2.5 Le rapport entre l'enveloppe et le confort thermique.....	8
1.3.2.6 Impact de l'inertie thermique sur le confort du bâtiment.....	14
1.3.3 La conductivité thermique des matériaux.....	14
1.4 Conclusion.....	15
<b>chapitre 2 : etude d'detailles sur le mur de trombe.....</b>	<b>16</b>
2.1 Introduction.....	17
2.2 principe du mur trombe.....	17
2.2.1 Définition.....	18
2.2.2 Principe de fonctionnement.....	18
2.2.3 La réponse du mur Trombe aux besoins de chauffage.....	20
2.2.4 Mur trombe: Avantages et inconvénients.....	21
2.3 Le fonctionnement d'un mur Trombe .....	22
2.3.1 Fonctionnement de la paroi thermique en hiver.....	22
2.3.2 Fonctionnement de la paroi thermique en été.....	25
2.3.3 Circulation de la chaleur.....	28
2.3.4 Masse thermique du mur trombe.....	28
2.3.5 Thermocirculation.....	29
2.3.6 Performance du mur trombe (nord de l'ALGERIE).....	33
2.3.6.1 Effet des dispositifs des protections solaire.....	34
2.4 La modélisation des transferts de chaleur dans une cavité ventilée naturellement .....	35
2.4.2 Les échanges convectifs.....	35
2.4.2.1 Caractérisation de la convection naturelle.....	35
2.4.3 Approche numérique CFD.....	38

2.5 Conclusion .....	39
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>58</b>

# LISTES DES ACRONYMES ET NOMENCLATURE

## Acronymes :

ASHRAE 55: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers

CIBSE Chartered Institution of Building Services Engineers

CNRS Centre national de la recherche scientifique

CFD computational fluid dynamics

MVF Méthode des volumes finis

ISO: International Organization for Standardization

11Clo Isolation vestimentaires

E: Est

S: Sud

N: Nord

W: Ouest

## Nomenclature :

a: Coefficient d'absorption de couleur [-]

A: Surface du mur Trombe [ $m^2$ ]

Ad Surface du canal [ $m^2$ ]

Av: Surface des orifices [ $m^2$ ]

Cs: Chaleur spécifique [ $J/kg \cdot K$ ]

c: La vitesse de la lumière [ $m^2 kw^{-1}$ ]

CIO Unité d'isolement vestimentaire [ $m^2 \text{ } ^\circ KW^{-1}$ ]

Cp: Chaleur spécifique d'air [ $J/kg \cdot K$ ]

Df: Diffusivité thermique [ $m^2/h$ ]

GrH: Nombre de Grashof [-]

HT: Coefficient de transfert thermique [W/ Km<sup>2</sup>]

hc: Coefficient de convection [W/m<sup>2</sup>]

Lc Longueur caractéristique [m]

Pr: Nombre Prandtl [-]

Q: Flux thermique [W]

Ra: Nombre de Rayleigh [-]

S: Surface d'échange [m<sup>2</sup>]

T: Température [K]

To: Température de référence [K]

T1 Température de la vitre [K]

Te Température d'entrée [K]

Tg: Température de la face externe du mur [K]

Tg: Température globe noir [K]

Tin Température d'entrée [K]

Tm Température de l'air dans le canal [K]

Tmr: Température moyenne radiante [K]

# LISTE DES FIGURES

## CHAPITRE1

Figure 1.1 : La relation entre l'enveloppe et les paramètres du confort thermique (L'agence internationale de l'énergie).....	9
Figure 1.2 :approche systémique du comportement thermique dun bâtiment de logements ...	11
Figure 1.3 : Gains thermique internes d°un espace .....	12

## Chapitre 2 : Etude d'détaillés sur le mur de trombe

Figure 2.1 .: Mur Trombe du parc national Zion, Utah Etats Unis, étudié par Torcellini et Pless.....	17
Figure 2. 2: Principe du fonctionnement du mur trombe.....	19
Figure 2. 3: La spécificité du mur Trombe.....	19
Figure 2. 4: Fonctionnement d'un mur thermique en hiver.....	23
Figure 2. 5: Fonctionnement hiver : l'air extérieur est réchauffé par le mur Trombe.....	24
Figure 2.6: Fonctionnement d'un mur thermique pendant l'été.....	26
Figure 2 7: Fonctionnement été : l'air intérieur est aspiré par le capteur.....	27
Figure 2.8: Evolution de la température interne du local avec deux méthodes pour l'évaluation du flux échangé par thermocirculation.....	30
Figure 2.9 : Influence de la thermocirculation sur la température interne du local.....	32
Figure 2. 10: Evolution de la température du local en hiver.....	33
Figure 2. 11 Evolution de température la du local en été .....	34
Figure 2. 12: Illustration du profil d'écoulement vertical et de la vitesse moyenne dans une cavité chauffée.....	36

# LISTE DES TABLEUX

## **Chapitre 2 : Etude d'détaillés sur le mur de trombe**

Tableau 2. 1 : les avantages et les inconvénients de mur trombe.....21

Tableu 2.2 :flux par thermo-circulation.....30

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

La première crise pétrolière du début des années 1970 a totalement modifiée le rapport des pays occidentaux avec l'énergie. L'énergie a toujours été un enjeu vital pour la société humaine. Les comportements humains sont fortement induits par son abondance ou sa rareté.

La prise de conscience de l'importance des enjeux liés à l'énergie (Réchauffement climatique, épuisement des ressources, augmentation des coûts de la santé,...) ont pris une part croissante dans la gestion énergétique mondiale.

Le secteur du logement est très responsable de la consommation d'énergie et de la pollution qu'elle génère. Par conséquent, Il est nécessaire de développer et élaborer des stratégies qui ont recours à la sobriété, l'efficacité et la renouvelabilité énergétique.

Au cours des dernières années, le soutien politique aux énergies renouvelables n'a cessé de croître au niveau international, parallèlement avec le développement des technologies nécessaires pour l'exploitation optimale des ressources énergétiques renouvelables.

L'Algérie possède un énorme potentiel d'énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, géothermie, biomasse, et l'énergie photovoltaïque vu l'importance du gisement solaire du pays.

Parmi les énergies renouvelables, nous citons l'énergie solaire, une énergie exploitée depuis des milliers d'années. En effet l'énergie thermique produite par voie solaire est une forme d'énergie très écologique sans émission de CO<sub>2</sub>. De ce fait la substitution des charbons, gaz naturelle et autres réduisent sans aucun doute les effets désastreux des systèmes énergétiques classiques.

## INTRODUCTION GENERALE

---

La solution proposée tourne autour de l'ajout d'un système de chauffage solaire passif à un logement qui se base sur la limitation des pertes énergétiques avant toute chose. Cette dernière est une solution séduisante et très intéressante pour l'économie et l'utilisation rationnelle de l'énergie ainsi réduisant sans aucun doute les effets désastreux des systèmes énergétiques classiques.

Parmi ces nouveaux systèmes, celui développé par le professeur Trombe qui comprend à disposer un mur en maçonnerie lourde orienté sud derrière un vitrage et le munir de deux orifices et qui consiste à chauffer l'air avec le soleil puis le diffuser dans un local. Un procédé technique en phase avec l'architecture bioclimatique, revisité aujourd'hui pour optimiser son efficacité.

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'étude du comportement d'un système de mur Trombe et son effet sur la distribution de l'air et le confort dans un local. Ce travail en s'inscrit dans le cadre de la modélisation numérique d'un mur Trombe sous les hypothèses suivantes:

on considère que l'écoulement au sein de la lame d'air du mur Trombe est un écoulement laminaire, transitoire et que la convection est naturel vu qu'il n'existe aucun travail extérieur pour extraire cet air en négligeant la théorie de Boussinesq.

La technique CFD est utilisé pour résoudre les équations gouvernantes.

Le manuscrit est composé de trois chapitres dont le premier est consacré à une généralité sur les notions du confort dans un habitat et l'efficacité énergétique. Le deuxième chapitre présente une étude détaillée sur le mur Trombe et le chauffage des habitats.

Le troisième chapitre abordera la réalisation de ce modèle de mur trombe et Les résultats en termes de la distribution de la température.



***CHAPITRE 1 :***

***NOTIONS SUR LE CONFORT DANS UN  
HABITAT ET L'EFFICACITE ENERGETIQUE***

## **1.1 Introduction**

Le secteur du bâtiment est le premier consommateur d'énergie et deuxième émetteur de gaz à effet de serre, il présente donc des potentialités élevées d'économie. En Algérie, la consommation d'énergie finale au cours des dernières années, n'a cessé de progresser en raison de l'augmentation de la demande en énergie liée principalement au développement économique et à l'évolution du niveau de vie des Algériens. Notre pays connaît depuis près d'une décennie un développement intense et soutenu des secteurs du bâtiment et de la construction

## **1.2 L'efficacité énergétique dans un habitat**

L'efficacité énergétique veut dire réduire à la source la consommation d'énergie nécessaire pour un même service sans provoquer une diminution du niveau du bien être ou de qualité de ce service dans les bâtiments, autrement dit la meilleure utilisation de l'énergie pour une qualité de vie constante .

### **1.2.1 Pourquoi l'efficacité énergétique est-elle nécessaire ?**

En augmentant l'efficacité énergétique, nous utilisons moins d'énergie et nous réduisons du même coup les émissions de gaz à effet de serre, protégeant ainsi l'environnement. La sécurité de l'approvisionnement en énergie s'en trouve également n'ou ons pas qu'en adoptant des solutions favorisant l'efficacité énergétique, nous dépensons moins d'argent pour l'énergie.

## **1.3 Confort dans un habitat**

### **1.3.1 Définition du confort**

Le confort est le résultat de la sensation de bien-être au niveau physique et mental. Le confort dans la maison sera perçu par les sens tels que la sensation de froid ou de chaleur, l'odorat, l'ouïe (bruit), l'œil ou la vision (couleurs, équipements visuellement agressifs ou non,...). En effet, le confort dépend de nombreux facteurs en dehors de l'atmosphère il-même.

Ces facteurs sont : la santé, l'âge, la façon de s'habiller, les habitudes, l'état psychologique du moment, etc. Il est do presque utopique.

### **1.3.2 Le confort thermique dans un habitat**

#### **1.3.2.1 Définition**

Au fil des temps; Le concept de confort a évolué. Il est de plus en plus souvent rattaché aux conditions de vie à l'intérieur de l'habitat, à l'issue normal et gain ultime suite à l'évolution de ce que fut et ce qu'est devenue une habitation.

Il est bon aussi de savoir que nous ne sommes pas "égaux" en matière de confort. Des notions culturelles influent. Par exemple une personne qui aura toujours baigné dans une ambiance légèrement chauffée supportera plus facilement le froid qu'une autre qui aura toujours vécu à + 20 ou 22°.

La température maximale idéale est de 28°, c'est à dire proche de celle de la température de surface du corps humain (selon les sources, entre 28 à 33°), au-delà commence la zone d'inconfort.

Le confort thermique est défini comme «< un état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique >> .

La norme ASHRAE 55 définit le confort thermique comme « la condition d'esprit qui exprime la satisfaction en présence d'un environnement thermique donné » .

Le confort thermique concerne principalement la température intérieure des pièces, sa répartition harmonieuse dans l'espace et la qualité de l'air ambiant.

#### **1.3.2.2 Température légal dans un habitat**

Le ministère du Logement, de l'Urbanisme et de la Ville a publié la réglementation thermique algérienne des bâtiments. L'application de cette régulation thermique doit conduire à une isolation thermique des nouveaux bâtiments, dans le but de réduire la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation. Cette politique peut passer la loi n° 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la gestion de l'énergie et son règlement d'application, notamment l'arrêté n 2000-90 du 24 avril 2000 relatif à la réglementation thermique des bâtiments neufs .

L'isolation permet de limiter les fuites de calories. Afin de maintenir l'habitat dans la plage légale de 18°C à 19° C, si les murs sont isolés, la chaleur doit être réduite. C'est un fait absolu et incontestable.

Ces températures ont été utilisées pour assurer un équilibre entre santé et consommation d'énergie.

### **1.3.2.3 Différents facteurs agissant sur le confort thermique**

#### **1.3.2.3.1 L'orientation**

B. Givoani place le concept d'orientation au centre des éléments qui affectent l'atmosphère du bâtiment. Il définit la direction du bâtiment par le sens de rotation de ces façades. Ce facteur dépend dans une large mesure de la ventilation, de la nature du climat, du champ de vision et des pertes éventuelles. En effet, l'orientation du bâtiment affecte son atmosphère interne de deux manières, ce qui conditionne la qualité de l'habitat, en y ajustant des facteurs climatiques différents :

Le rayonnement solaire et son effet chauffant sur les murs et les pièces faisant face à différentes directions.

- L'orientation sud génère généralement de la chaleur et de la lumière, les espaces orientés vers cette direction seront les pièces de vie dédiées aux activités de jour, telles que le salon, la salle à manger, la cuisine et le bureau. Ceux-ci doivent avoir de grandes ouvertures en verre pour mieux capter le rayonnement solaire.

- Les pièces peu utilisées et à basse température doivent de préférence être situées du côté nord de l'habitat sont des zones tampons. Ils sont moins utilisés, mais jouent un rôle protecteur contre le froid.

-À l'est et au sud-est, la pièce utilise la lumière du soleil, qui est une source de lumière éblouissante.

-À l'ouest et au sud-ouest, ces pièces bénéficieront du coucher du soleil, mais elles surchaufferont et seront difficiles à contrôler au final.

### **1.3.2.3.2 La ventilation naturelle**

La gestion du confort d'été passe par la possibilité de ventiler avec de l'air frais une habitation. La capacité de rafraichissement est disponible comme de jour ou de nuit .En hiver, cette option n'est valable que si un jour fait bon pour aérer la maison .L'air mobile est très favorable à des déperditions de chaleur Par conséquent, l'impact de la ventilation sur un bâtiment n'est pas négliger, car elle augmente les pertes par convection .

### **1.3.2.3.3 Dimension et ouvertures**

Les parois transparentes (vitrages) de l'enveloppe d'une habitation participent activement dans les échanges thermiques entre les environnements intérieurs et extérieurs des bâtiments (apports et déperditions thermiques). Toutefois, une attention particulière aux dimensions de ces ouvertures est recommandée selon l'orientation et la conception. En effet :

-Les vitres verticales orientées plein sud ont le double avantage d'être très bien exposées au soleil d'hiver, et facile à protéger du soleil d'été.

- Pour les fenêtres orientées Est ou Ouest, il est souhaitable de leur donner des dimensions moyennes uniquement avec un plan d'énergie solaire, car en hiver elles reçoivent très peu d'énergie solaire. En été, cependant, elles sont largement exposées(le matin pour les fenêtres orientales, l'après-midi pour les fenêtres occidentales). Parce que la température extérieure est plus élevée l'après-midi, les ouvertures à l'ouest provoquent une surchauffe, qui est plus difficile à éliminer.

-L'ouverture en verre orientée au nord est celle qui à le moins d'absorption solaire, car le vent le plus froid vient généralement du nord, vous devez donc réduire l'ouverture. Cependant, en raison de la consommation excessive d'éclairage artificiel, vous devez éviter de trop réduire ces ouvertures.

### **1.3.2.4 Facteurs ayant une incidence sur le confort thermique**

Les principaux facteurs qui ont une incidence sur le confort thermique sont les suivants :

#### **1.3.2.4.1 Température de l'air**

Une température idéale pour chaque espace dépend de l'activité qui s'y déroule, de l'heure de la journée et des préférences de chacun. L'idéal est d'éviter de grandes différences de température dans le temps entre le jour et la nuit ou entre les saisons.

#### **1.3.2.4.2 Humidité de l'air**

L'humidité relative de l'air affecte également le confort. Idéalement, l'hiver devrait être compris entre 30% et 70%. En été, il est préférable d'avoir de l'air sec pour favoriser la transpiration.

#### **1.3.2.4.3 Courants d'air**

Les courants d'air sont très agréables en été, car ils favorisent l'évacuation de la transpiration, et en hiver ils sont très douloureux, car ils favorisent les échanges thermiques entre le corps et l'air.

C'est le principe de la convection:

- En été, des ouvertures soigneusement conçues peuvent créer des courants d'air utiles et rafraîchissants.
- Au contraire, en hiver, il est préférable de les réduire ou de les guider pour qu'ils ne balayent pas tout l'espace.

### **1.3.2.5 Le rapport entre l'enveloppe et le confort thermique**

Le choix de l'enveloppe du bâtiment a un impact significatif sur la consommation d'énergie. Cependant, à long terme, pour assurer le confort thermique à l'intérieur de la maison, les mauvaises options peuvent être très coûteuses (figure 2.2). La mesure d'amélioration la plus économiquement raisonnable est d'intervenir au niveau de l'enveloppe du bâtiment pour atteindre la performance énergétique .

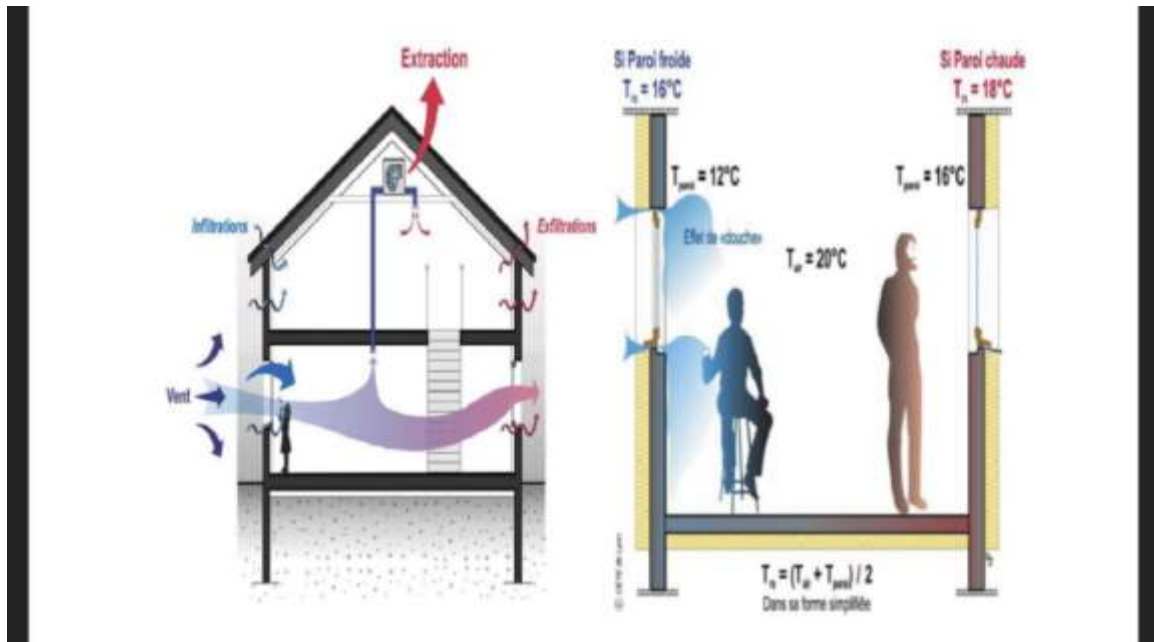


Figure 1.1 : La relation entre l'enveloppe et les paramètres du confort thermique (L'agence internationale de l'énergie)

**• Les gains thermiques internes**

Avec le développement de la technologie et des besoins en énergie (éclairage, appareils électroménagers, etc...), le gain de chaleur interne a considérablement augmenté. L'équipement électrique convertit presque toute l'énergie qu'il consomme en chaleur.

Par conséquent, l'apport interne comprend toute chaleur générée dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage. L'acquisition de ces chaleurs est liée au type de bâtiment, au nombre d'utilisateurs et à leur utilisation.

Selon H. Boivin, le confort de l'espace est directement affecté par ces taux de rentabilité internes (figure 1.6). On peut dire qu'une fois les gens habités, ces apports sont inévitables. Cependant, il convient de noter que ces contributions sont variables selon le comportement des occupants, et constituent ainsi un facteur exacerbant l'inconfort thermique, sur lequel les moyens de déplacements des bâtiments sont restreints. Seule une bonne ventilation et un bon comportement des occupants peuvent réduire ces intrants ou leur impact sur la température intérieure.

En général, nous pouvons définir l'absorption de chaleur interne dans un bâtiment comme la somme de l'absorption de chaleur liée à la présence des occupants, à l'utilisation de l'équipement et à l'éclairage artificiel. Le guide A du CIBSE [Certified Institute of Building Services Engineers ] recommande d'utiliser la formule suivante pour obtenir un gain de chaleur interne :

$$Q_{int} = Q_{occupants} + Q_{éclairage} + Q_{équipements\ électriques} + Q_{cuisson}$$



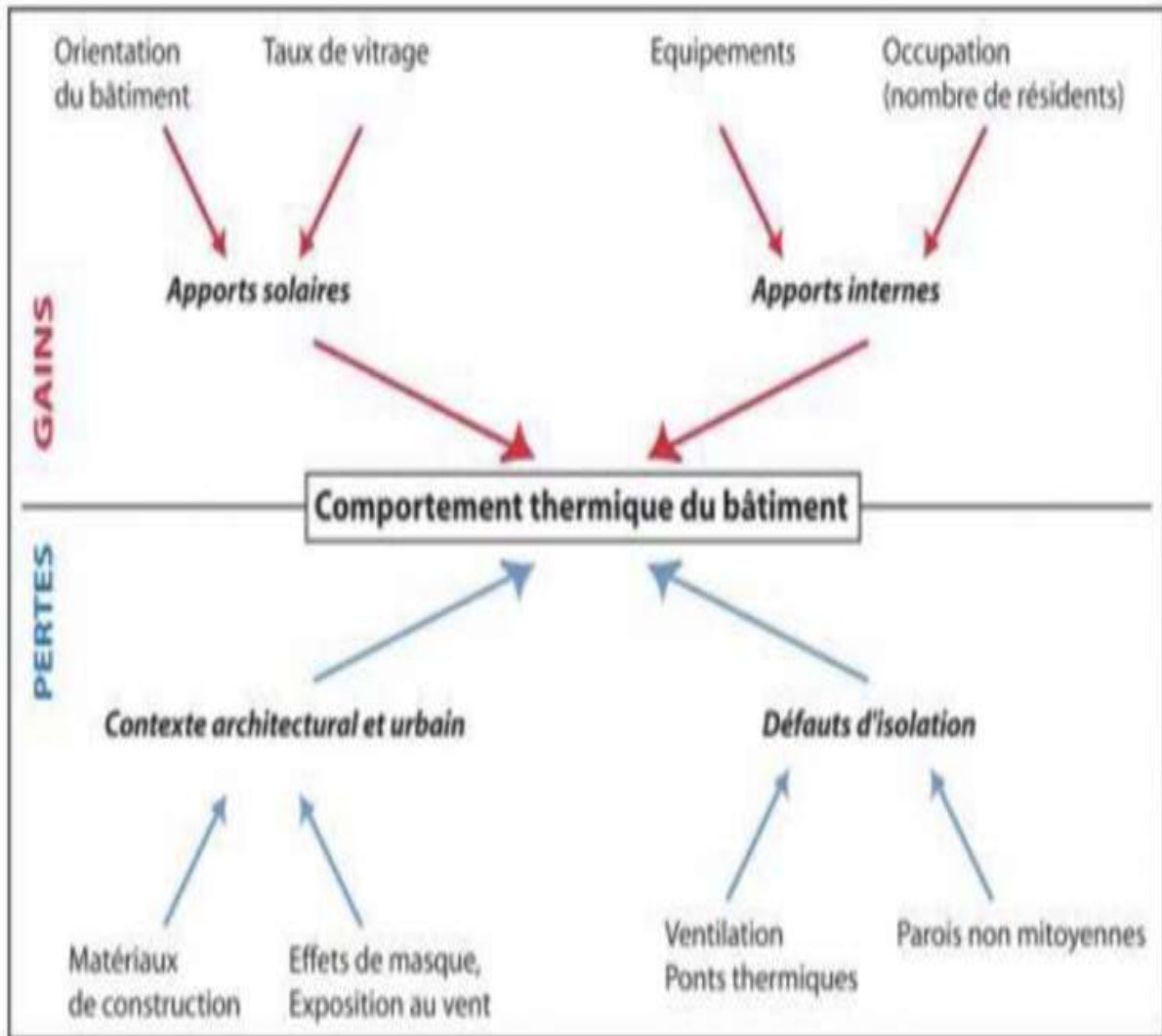


Figure 1.2 : approche systémique du comportement thermique d'un bâtiment de logements

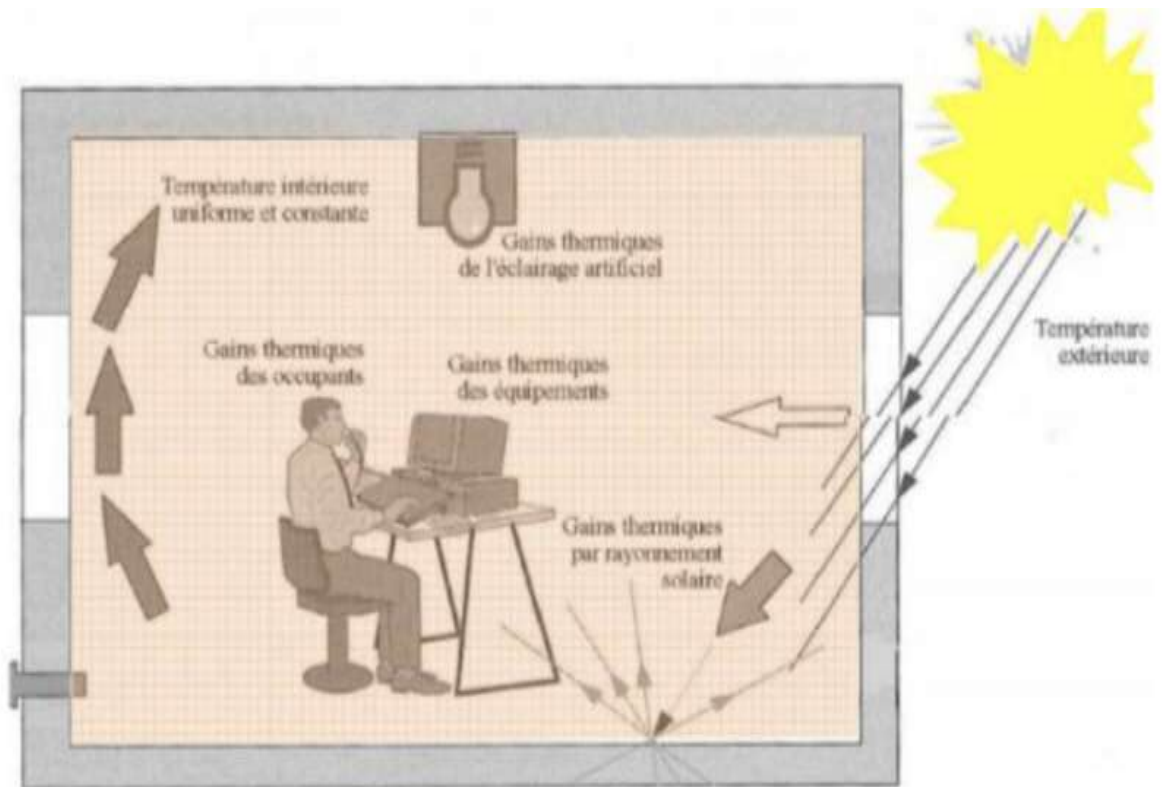


Figure 1.3 : Gains thermique internes d'un espace

**• Le confort d'hiver et d'été**

Le confort thermique est la sensation associée à la chaleur spécifique de chaque personne. En hiver, un bon confort thermique doit assurer une chaleur suffisante. En été, cette chaleur doit être limitée pour éviter une surchauffe. Que ce soit l'hiver ou l'été, chaque période a ses exigences.

**- Exigences d'hiver**

En hiver (période de chauffage), deux facteurs importants liés aux exigences sont la température de l'air intérieur et la température radiante de la pièce.

- Température interne: fixée à 19°C au centre de la pièce avec une hauteur de 1.25m.
- Température radiante moyenne: la température ne doit pas dépasser 4°C, et à 1m des murs froids (personnes situées dans des zones stables de ces murs).
- Humidité relative: doit être comprise entre 30% et 70%.
- Vitesse de circulation de l'air: ne doit pas dépasser 0.25m/s à 20°C.

**- Exigences d'été**

En été (période de refroidissement), la température de l'air extérieur et la température réelle sont deux facteurs importants liés aux exigences:

**La température ambiante moyenne**

- Climat tempéré: 25°C à 27°C.
- Climat sec et chaud: 28°C à 30°C.
- Courant d'air : La vitesse d'air est limitée de 0.30 à 0.40m/s.
- Température effective: environ 26°C.

### 1.3.2.6 Impact de l'inertie thermique sur le confort du bâtiment

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à stocker et à libérer de l'énergie thermique dans sa structure, quelle que soit la saison. Elle se caractérise par sa capacité thermique et exprime flux de chaleur échangé par les murs du bâtiment avec son atmosphère intérieure, par mètre carré de sol:  $W/m^2 \cdot K$  par  $m^2$ . Autrement dit, elle est derrière l'intelligente relation qui repose sur la bonne compréhension des échanges thermiques entre le dedans et le dehors. (Elle définit la vitesse à laquelle le bâtiment se réchauffe ou se refroidit).

L'inertie thermique d'un mur est sa capacité à la fois à accumuler de la chaleur (ou de la fraîcheur) et à la restituer, avec un déphasage en fonction des caractéristiques physiques, dimensionnelles et environnementales du mur de stockage. Plus l'inertie d'un mur est grande, plus il stocke des quantités importantes de chaleur (ou de fraîcheur), puis les libère, compensées par les variations de température extérieure.

### 1.3.3- La conductivité thermique des matériaux

La conductivité thermique est la quantité de chaleur transférée par unité de temps par un matériau avec une unité de surface et une unité d'épaisseur lorsque deux surfaces opposées diffèrent d'une unité de température.

Plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur, plus il est petit, plus le matériau est isolé.

La conductivité thermique est la quantité de chaleur transférée par unité de temps par une unité de surface et une unité d'épaisseur lorsque deux surfaces opposées diffèrent d'une unité de température. conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur, plus il est petit, plus le matériau est isolé.

## 1.4 Conclusion

On constate que la climatisation et le chauffage consomment une quantité importante en matière d'énergie. Pour atteindre une meilleure efficacité énergétique dans les bâtiments, un fonctionnement rationnel et le remplacement progressif des sources d'énergie traditionnelles par des énergies renouvelables doivent faire partie des objectifs de toute politique énergétique rentable.

En conclusion, nous pouvons déduire que le confort thermique est un élément essentiel du bien-être de l'utilisateur dans son environnement bâti. En tenir compte à la maison, il y a plusieurs aspects à considérer. Les paramètres qui affectent le confort thermique peuvent être divisés en deux types: les paramètres physiques (tels que la température de l'air, la vitesse de l'air, etc.) et les paramètres personnels (tels que les vêtements, l'activité). L'homme est un homéotherme, il doit maintenir sa température interne proche de 37C, l'adaptation à chaque environnement nécessite des réponses physiologiques, comportementales et parfois techniques pour assurer un équilibre entre le corps et l'environnement.

Aussi, L'augmentation du coût de l'énergie nous a rappelé que son entretien l'était tout autant. Par conséquent, la prise en compte du coefficient thermique lors de la conception des bâtiments est désormais un défi à relever pour trouver le bon compromis entre confort thermique et dépense énergétique.

## **Chapitre 2 :**

### **Etude d'développés sur le mur de trombe**

## 2.1 Introduction

Dans ce deuxième chapitre nous allons examiner d'une manière détaillée un système de chauffage solaire passif qui permet de stocker et de restituer de la chaleur. Cette technique de chauffage a été développée au C.N.R.S (centre national de la recherche scientifique (France) par le Professeur Trombe.

## 2.2 Principe du mur trombe

C'est au cours des années 1950 à 1970 qu'a réellement été testé le mur Trombe, par le professeur Félix Trombe et l'architecte Jacques Michel qui sont à l'origine de la création de ce mur qui porte leurs noms, le mur Trombe, également appelé mur Trombe-Michel. Il est particulièrement adapté aux constructions bioclimatiques dont le but de limiter les besoins en chauffage et de faire un usage optimal de l'énergie climatique. Sa méthode repose sur l'exploitation du phénomène de tirage thermique pour chauffer une pièce. Il s'agit de capter l'énergie solaire incidente puis de la redistribuer dans les bâtiments associés.



Figure 2.1 .: Mur Trombe du parc national Zion, Utah Etats Unis, étudié par Torcellini et Pless

### 2.2.1 Définition

Le mur Trombe est un système simple et intéressant qui repose sur le solaire passif, son objectif consiste à valoriser le rayonnement du soleil en associant deux propriétés physiques : l'inertie thermique du mur et l'effet de serre à travers un vitrage. Il est constitué d'un mur entièrement plein vertical en maçonnerie lourde (souvent composé de béton ou de pierre dans quelques cas ) orienté vers le sud et muni de deux orifices permettant la circulation de l'air entre la pièce et la serre formée par la surface de réception du mur et le vitrage qui le précède. Grâce à ce vitrage, la chaleur captée auprès du soleil bénéficie de ce que l'on appelle l'effet de serre et se restitue à travers le béton et la pierre, puis ensuite au cœur de tout le logement équipé

### 2.2.2 Principe de fonctionnement

Le mur Trombe est constitué d'une partie en béton devant laquelle on dispose un vitrage en laissant un espace de lame d'air. Il a des ouvertures en haut et en bas pour faire circuler l'air.

Le fonctionnement du mur Trombe est différencié en été et en hiver; il transmet les rayons solaires captés par les trois moyens de transfert de chaleur une partie est transmise par conduction à travers le mur qui est peint dans une couleur sombre pour une meilleure absorption, où il la restitue à l'intérieur du local par convection, la deuxième partie se transmet par circulation de l'air chaud se trouvant dans la cheminée solaire à travers les orifices (la chaleur piégée entre le mur et la vitre). Alors que la troisième se transmet par rayonnement.



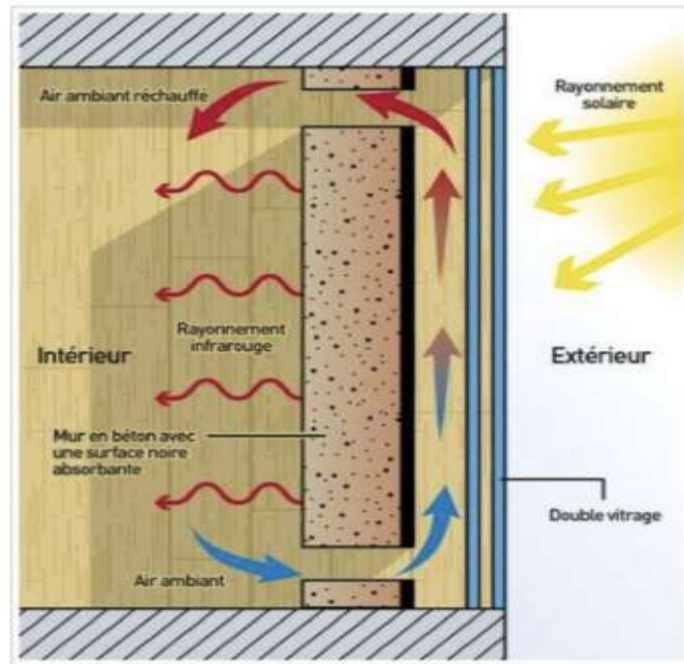


Figure 2. 2: Principe du fonctionnement du mur trombe

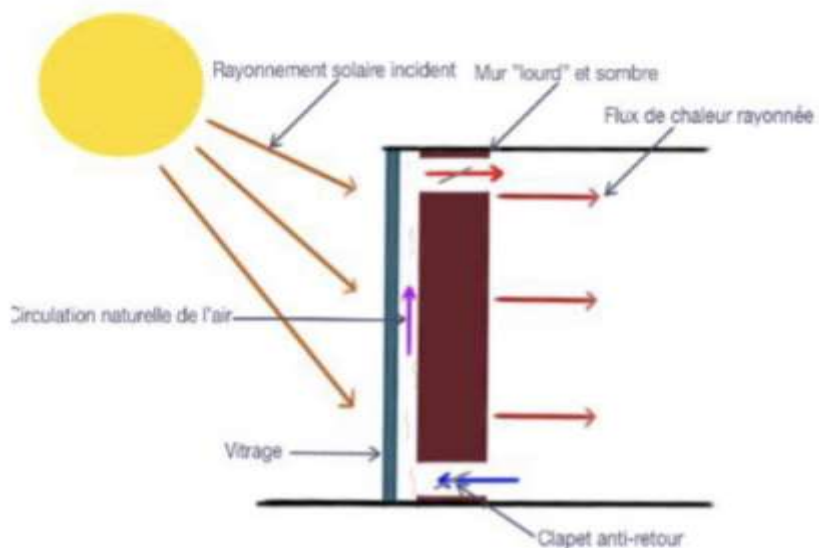


Figure 2. 3: La spécificité du mur Trombe

Toute différence de température dans le fluide, le liquide ou le gaz, change sa densité et un mouvement d'agitation apparait. Ce mouvement dans lequel les parties les plus chaudes du fluide ont tendance à s'élever et les parties froides et denses à descendre, s'appelle la convection. Ce dernier est observé entre le fluide en mouvement et la paroi, phénomène principal dans la plupart des échangeurs de chaleur.

Même si les trois processus peuvent avoir lieu simultanément, l'un des mécanismes est habituellement primordial. Parmi eux, l'échange de convection est la partie principale du transfert de chaleur, car le phénomène de convection est omniprésent dans la vie quotidienne.

Le mur Trombe est utilisé différemment selon les saisons et la période de la journée.

### **2.2.3 La réponse du mur Trombe aux besoins de chauffage**

La première maison à avoir bénéficié d'un mur Trombe est celle de M. Trombe lui-même. Cette dernière, construite en 1962, la quasi-totalité de la façade Sud est constituée d'un tel mur qui permet d'assurer 70% des besoins en chauffage de la maison.

Avec les progrès techniques au niveau des vitrages et des systèmes d'automatisation, le rendement d'une telle installation est de 30 à 40% des apports solaires. Par conséquent, la capacité du système à répondre aux besoins des maisons dépend en grande partie de l'ensoleillement de la région.

Enfin, comparé à d'autres systèmes de chauffage passifs, le mur Trombe possède des avantages indéniables. Le système le plus simple et le plus répandu est évidemment la baie vitrée performante. Le mur Trombe peut être complété pour lui donner une plus grande liberté architecturale. Il peut également bénéficier du déphasage de la chaleur, de sorte que la maison peut être chauffée toute la nuit, ce qui ne permet pas la baie vitrée seule.

### 2.2.4 Mur trombe: Avantages et inconvénients

Tableau 2. 1 : les avantages et les inconvénients de mur trombe

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
Pas de réglementation.	Système assez complexe a mettre en œuvre.
Possibilité d'automatiser tout le système.	Peut être contraignant : fermeture et ouverture des clapets, des volets, manuellement.
Système passif, propre.	Nettoyage du vitrage difficile, la convection du mur favorisant la poussière si on ne prévoit pas des filtres, des clapets antiretour et des ventilateurs.
	Manque d'esthétisme.
Réduction de la facture énergétique.	Très onéreux à mettre en place en raison de l'étude en amont et de l'installation.

## 2.3 Le fonctionnement d'un mur Trombe

### 2.3.1 Fonctionnement de la paroi thermique en hiver

Le concept de la paroi thermique est lié à la paroi du thermosiphon, dans lequel l'air chaud qui est entre le verre et le mur est en train de changer avec l'air généralement plus frais qui se trouve dans l'espace derrière le mur.

Pendant la journée, lorsque le soleil frappe la surface transparente; le rayonnement solaire passe à travers le verre et atteint la surface sombre de la paroi. Une partie de la chaleur générée est absorbée par le mur et distribuée à l'intérieur, tandis que le reste est piégé dans l'espace entre le verre et le mur. Selon la deuxième loi de la thermodynamique, une partie de la chaleur produite est consommée en chauffant l'air froid qui est entre le verre et le mur. L'air le plus chaud a tendance à se soulever. Jusqu'à présent, le processus est similaire pour tous types de murs solaires (masse, l'eau, les murs de Trombe).

L'innovation du mur Trombe est que la partie supérieure est conçue avec des événements, la partie inférieure de la paroi fait circuler l'air. La circulation de l'air est basée sur l'air chaud circulant de ventilation supérieure vers l'espace derrière le mur. En même temps, le refroidisseur d'air passant par les événements inférieurs tend à combler le vide d'air créé.

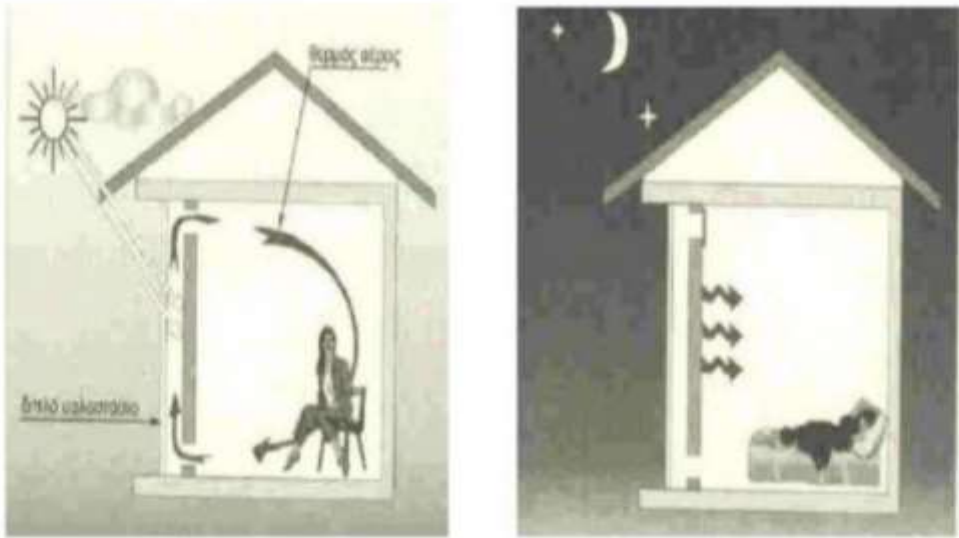


Figure 2. 4: Fonctionnement d'un mur thermique en hiver

Pendant la nuit, une circulation d'air inversée se produit, ce qui signifie qu'il doit être prévu de façon à fermer les événements pour empêcher la circulation inverse de l'air empêchant ainsi les pertes de chaleur. La combinaison de la désactivation du système et de la fermeture des événements muraux, qui agissent maintenant comme un mur de masse, et l'isolation de la nuit, se compose des conditions de base pour contrôler et réduire les pertes de chaleur surtout pour la nuit que pour les jours sombres avec un manque de radiation solaire.

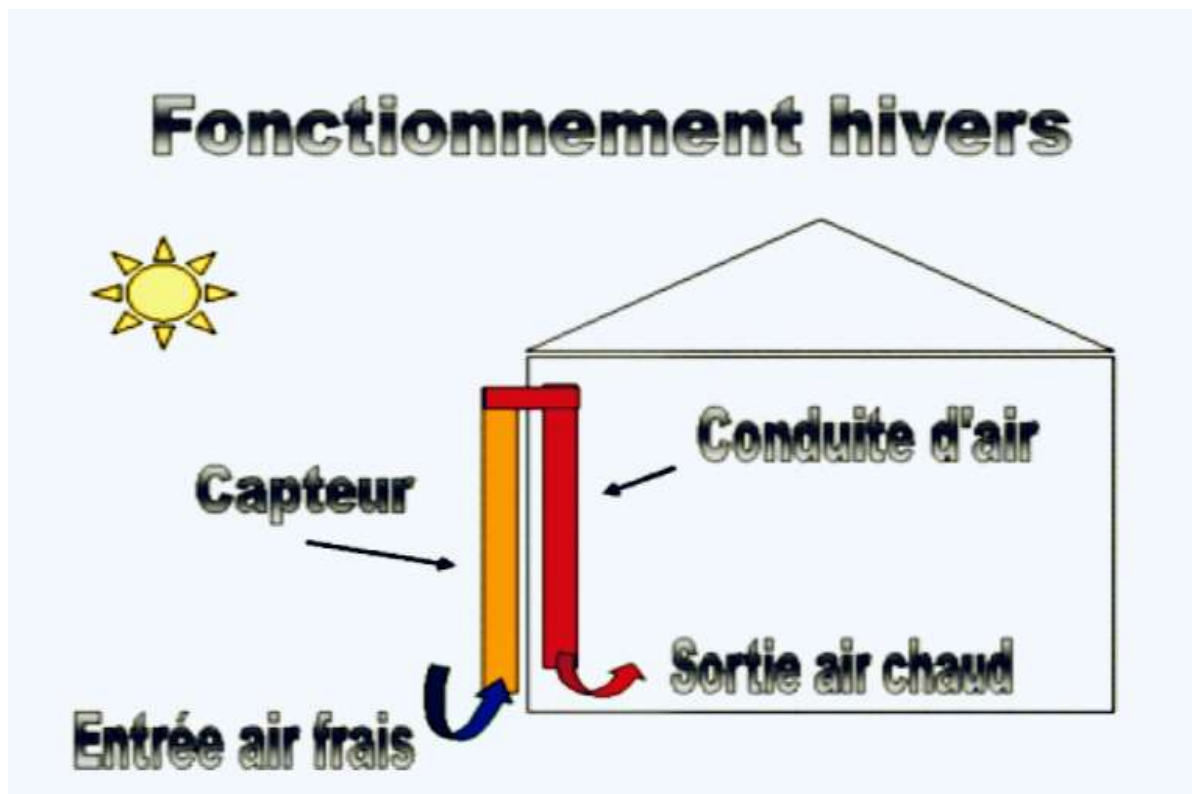


Figure 2. 5: Fonctionnement hiver : l'air extérieur est réchauffé par le mur Trombe

### 2.3.2 Fonctionnement de la paroi thermique en été

La plupart des systèmes solaires passifs peuvent être désactivés pendant l'été, ou fonctionnent au verso; fournir de refroidissement au lieu de chauffage. Par conséquent, le mur thermique avec ou sans événements (mur de masse) offre la possibilité de refroidissement en été pour lequel il existe trois manières d'opérer :

-Fournir un effet d'ombrage élimine presque la possibilité de stockage thermique. Cela peut produire à la fois au mur de masse ou Trombe.

-Retrait de l'air chaud en ouvrant les grilles supérieure et inférieure du vitrage du mur isolant.

-Le flux d'air peut être généré en ouvrant l'ouverture de l'orifice supérieur du vitrage et l'orifice inférieur de la paroi inférieure de la paroi, cela a un effet "cheminée solaire ".En enlevant l'air entre le vitrage et me mur, une basse pression d'air peut créer ce qui aspire l'air intérieur à l'extérieur.

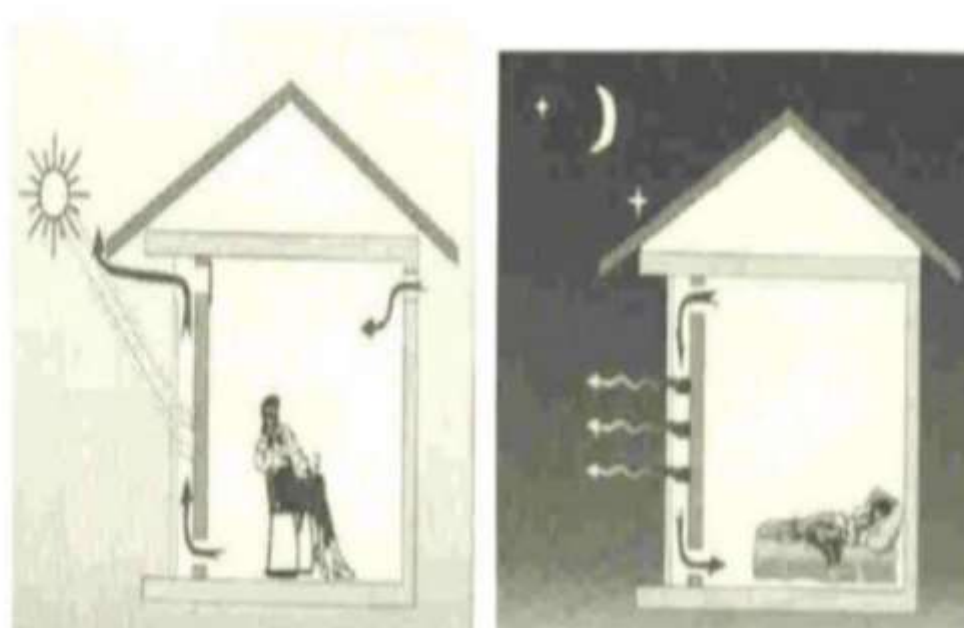


Figure 2.6: Fonctionnement d'un mur thermique pendant l'été



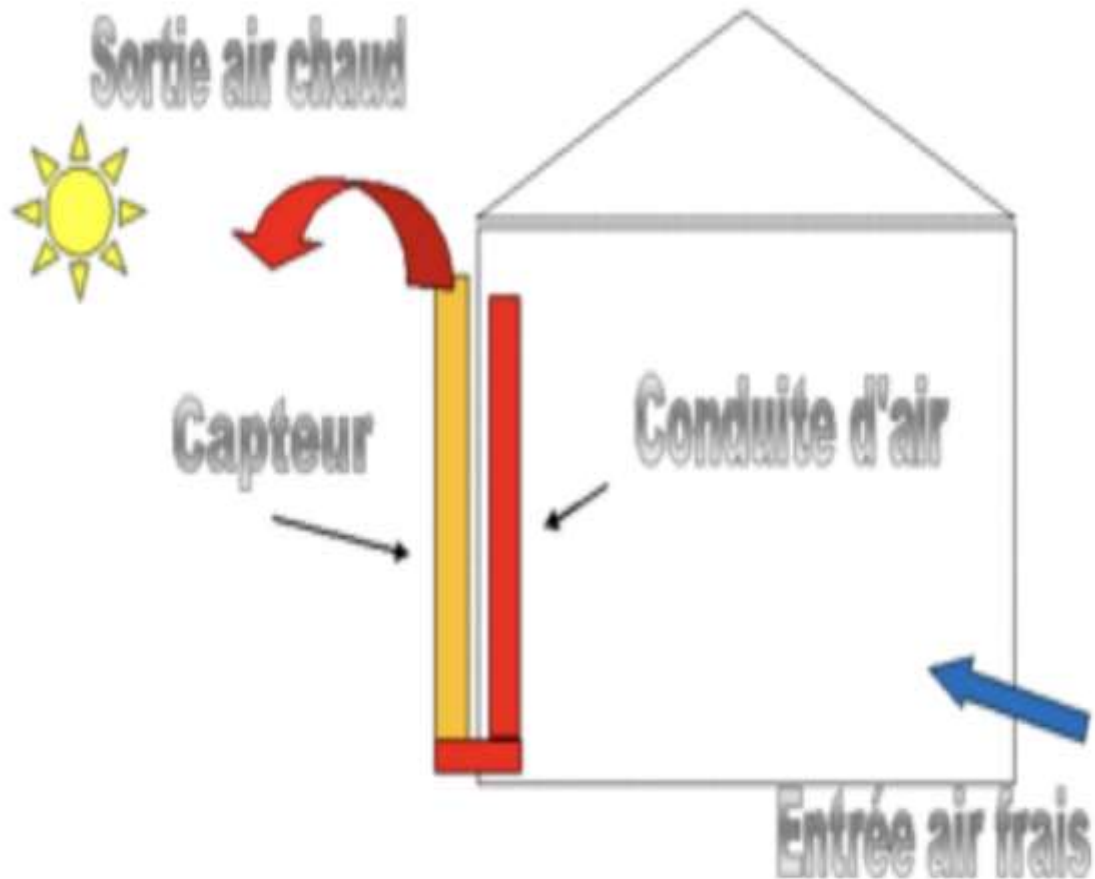


Figure 2 7: Fonctionnement été : l'air intérieur est aspiré par le capteur

### 2.3.3 Circulation de la chaleur

$$Q_t = v.d .C_p.(T_{so}-T_e )$$

Où :

V: vitesse d'écoulement d'air (m/s)

d: densité de l'air (kg/m<sup>3</sup>)

C<sub>p</sub> chaleur spécifique de l'air (kJ/kg .K)

T<sub>so</sub> température de sortie d'air (K)

T<sub>e</sub> température d'entrée d'air (°C)

### 2.3.4 Masse thermique du mur trombe

L'épaisseur appropriée de la masse thermique est indispensable pour que le système fonctionne efficacement. la transmission de chaleur dans l'espace intérieur peut être instantanée ou peut être reportée à une période de 16 heures.

L'inertie thermique de la transmission pendant la nuit et le rayonnement solaire diurne est proportionnel à la capacité thermique pour un mètre carré de la masse thermique, mais elle diminue en fonction d'augmentation de la conductivité du matériau. L'utilisation de béton ordinaire dans les prototypes Odeillo a entraîné une vitesse de transfert d'environ 3.7-4.0 cm/h.

### 2.3.5 Thermocirculation

La thermo-circulation c'est un mode ascendant de circulation de l'air dû à l'échauffement de parois sous l'effet du soleil.

Le mur collecteur transmet l'énergie solaire collectée par deux moyens, une partie est conduite par conduction à travers le mur et renvoyée à l'intérieur du local par convection. La seconde partie est transmise par la circulation naturelle de l'air chaud trouvée dans la cheminée solaire à travers les ouvertures. Le débit de cet air peut être calculé à partir de la relation suivante :

Deux approches différentes pour le calcul de température le long de la cheminée solaire ont été utilisées. Les deux résultats expérimentaux ont été tirés d'un essai en Toscane en Italie sur un local qui présente les caractéristiques suivantes :

Surface du mur Trombe:  $32.5 \text{ m}^2$

Epaisseur du mur Trombe:  $60 \text{ cm}$

Surface des orifices de circulation: 5% de la surface du mur Trombe

Volume de la pièce :  $244 \text{ m}^3$

Première approche :

La variation de la température de l'air le long de la cheminée solaire ( $T_m$ ) est supposée être linéaire.

Avec :

le coefficient de convection ( $W/m^2$ )

T1 température de la vitre (K)

Tg: température de la face externe du mur (K)

Deuxième approche :

La variation de Tm est supposée être non linéaire

Afin de recommander celle qui se rapproche le mieux avec la réalité, nous avons procédé à un travail de simulation.

Il en ressort d'après la figure 9 (dessous) que l'approche théorique considérant une variation linéaire de la température le long de la cheminée solaire surestime le débit échangé au cours du cycle thermique est différent du deuxième et la valeur donnée par le second débit est proche du résultat réel.

Température ( $^{\circ}C$ )

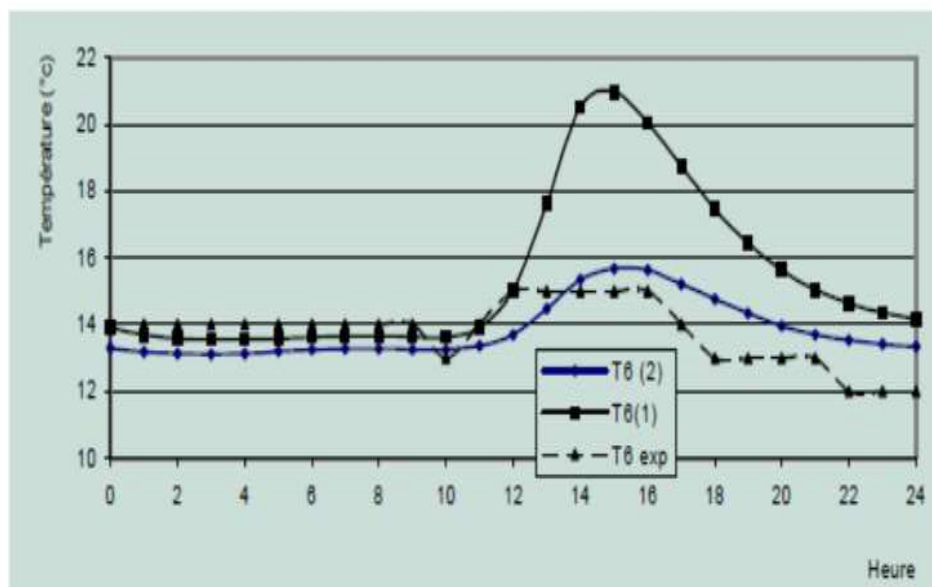


Figure 2.8: Evolution de la température interne du local avec deux méthodes pour l'évaluation du flux échangé par thermocirculation

Tableau 2.2 :flux par thermo-circulation

Modèle	$Q_c$ (MJ)
Variation linéaire de la température	1.8
Variation en exponentielle	0.86

L'intérêt de la thermo-circulation et son effet sur l'évolution de la température intérieure du local est illustré par la figure 10, nous remarquons que la présence de la thermo-circulation conduit à un bilan thermique légèrement supérieur

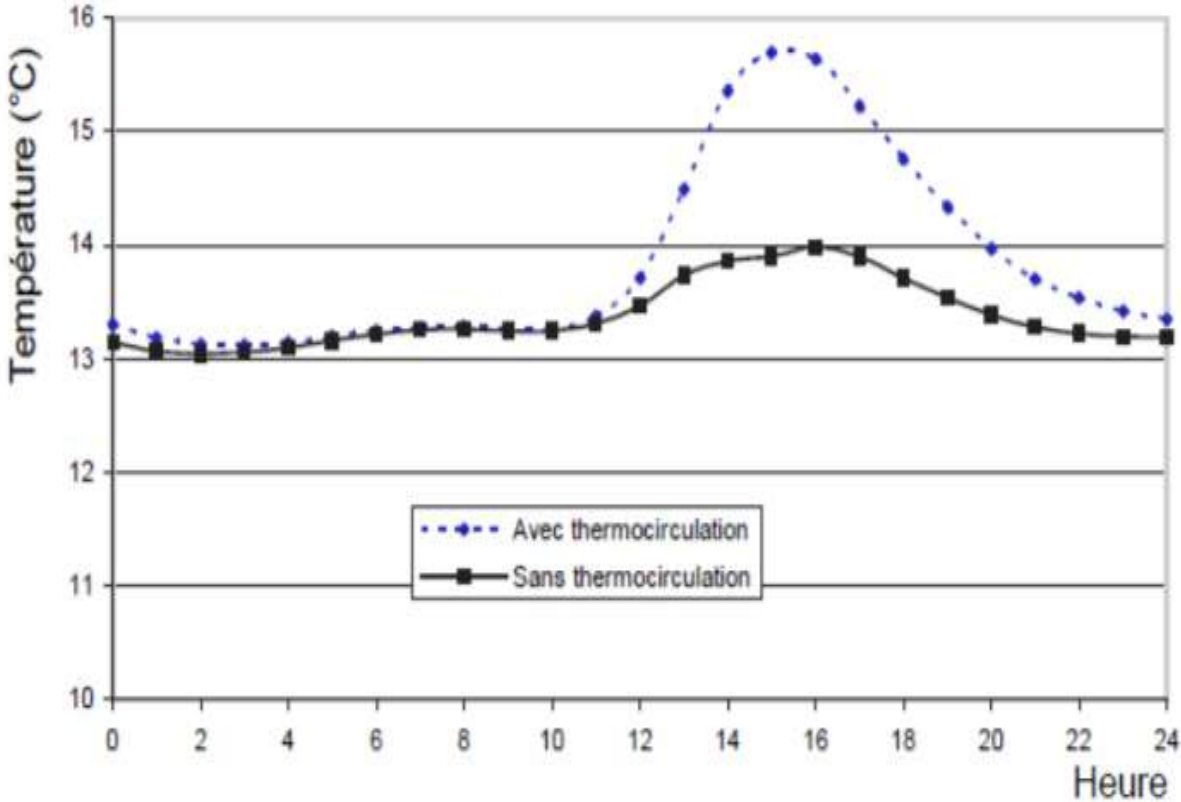


Figure 2.9 : Influence de la thermocirculation sur la température interne du local

### 2.3.6 Performance du mur trombe (nord de l'ALGERIE)

Afin d'évaluer les performances d'un tel dispositif dans les conditions climatiques du nord de l'Algérie, une comparaison a été effectuée entre un local muni d'un mur Trombe de 40 cm d'épaisseur et un local classique sur des journées types d'hiver et d'été, il en résulte d'après la figure 5 que la mise en place d'un mur Trombe engendre un gain d'environ 6 °C

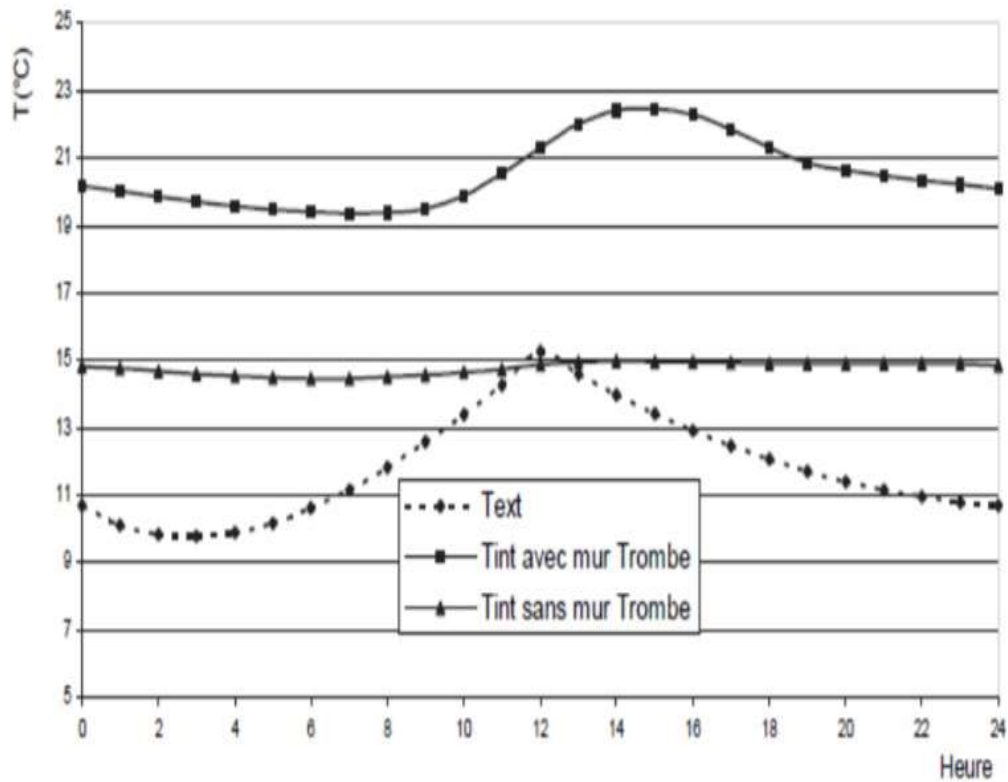


Figure 2. 10: Evolution de la température du local en hiver

### 2.3.6.1 Effet des dispositifs des protections solaire

Pour maintenir le local frais pendant les journées chaudes d'été il est nécessaire de prévoir une protection solaire, la figure 2.12montres que la mise en place de store vénitien peut diminuer la température intérieure du local d'environ 3 °C.

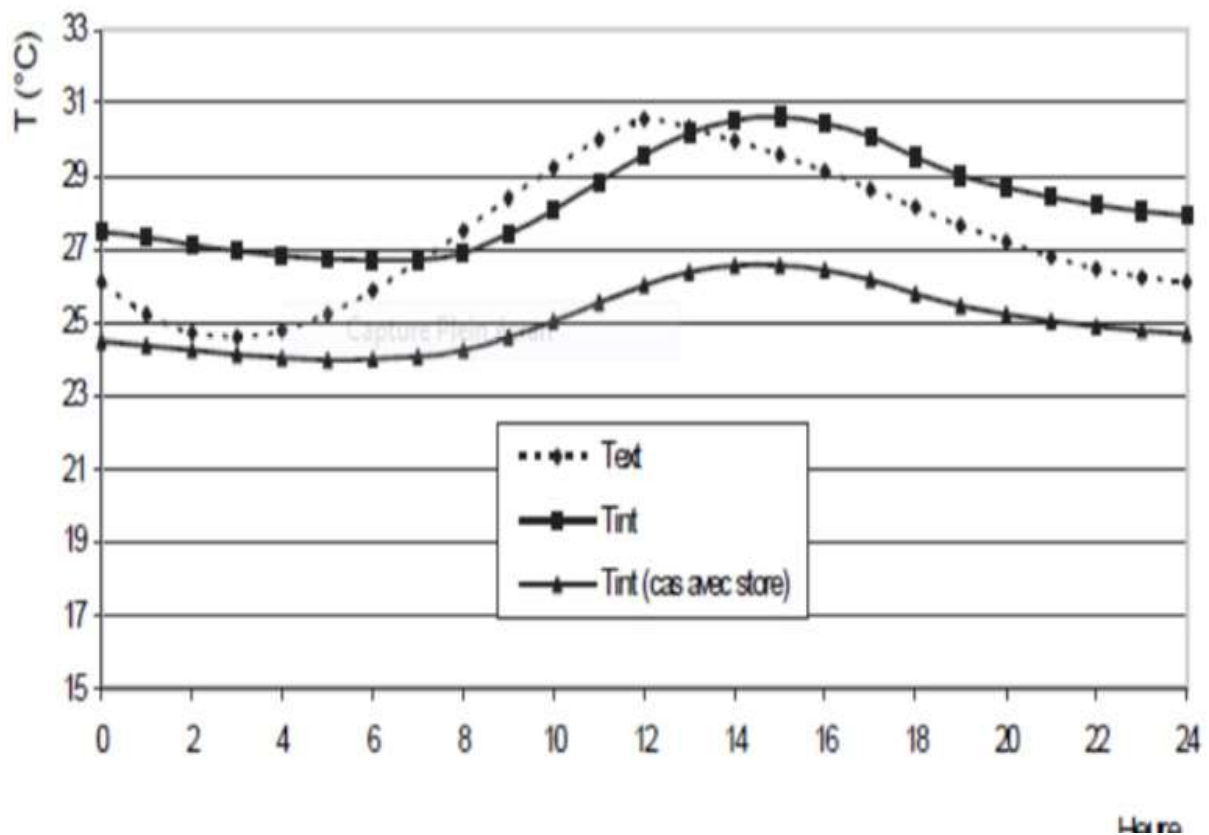


Figure 2. 11 Evolution de température la du local en été

## **2.4 La modélisation des transferts de chaleur dans une cavité ventilée naturellement**

L'étude du flux entre deux plaques chauffées a conduit à deux nombreux modèles .Ces modèles sont basés sur des choix de représentations des phénomènes entrant en jeu, notamment dans les échanges radiatifs et les échanges convectifs. Pour ces premiers, il s'agit d'une part des échanges de rayonnement entre l'extérieur et le parement et d'autre part de ceux qui ont lieu au sein du système solaire passif étudié.

Les modèles décrivant la convection naturelle qui prend place au sein de la lame d'air sont conçus pour déterminer le coefficient de convection et le flux de renouvellement d'air. Ils peuvent être divisés en 3 familles : l'approche numérique, cela correspond à la résolution des équations de Navier-Stokes par les méthodes de CFD, et deux approches analytiques, l'une est centrée sur l'effet cheminée, et l'autre sur les pertes de charge de l'écoulement.

### **2.4.2 Les échanges convectifs**

#### **2.4.2.1 Caractérisation de la convection naturelle**

Il existe deux types de transfert de chaleur par convection qui se produisent dans la cavité ouverte des systèmes solaires passifs. Premièrement, l'échange de transport convectif correspond à l'énergie transmise par l'air dans son flux vertical, il est donc associé au débit de renouvellement d'air. Ensuite, l'échange convectif entre la surface de la cavité et l'air qui sont caractérisés par un coefficient de convection. Ces données sont présentées sur la figure . On constate aussi, comme montré sur la figure, que la courbe de l'écoulement est de forme parabolique, mais pour simplifier, on considère que la vitesse moyenne est directement liée au débit de renouvellement d'air.



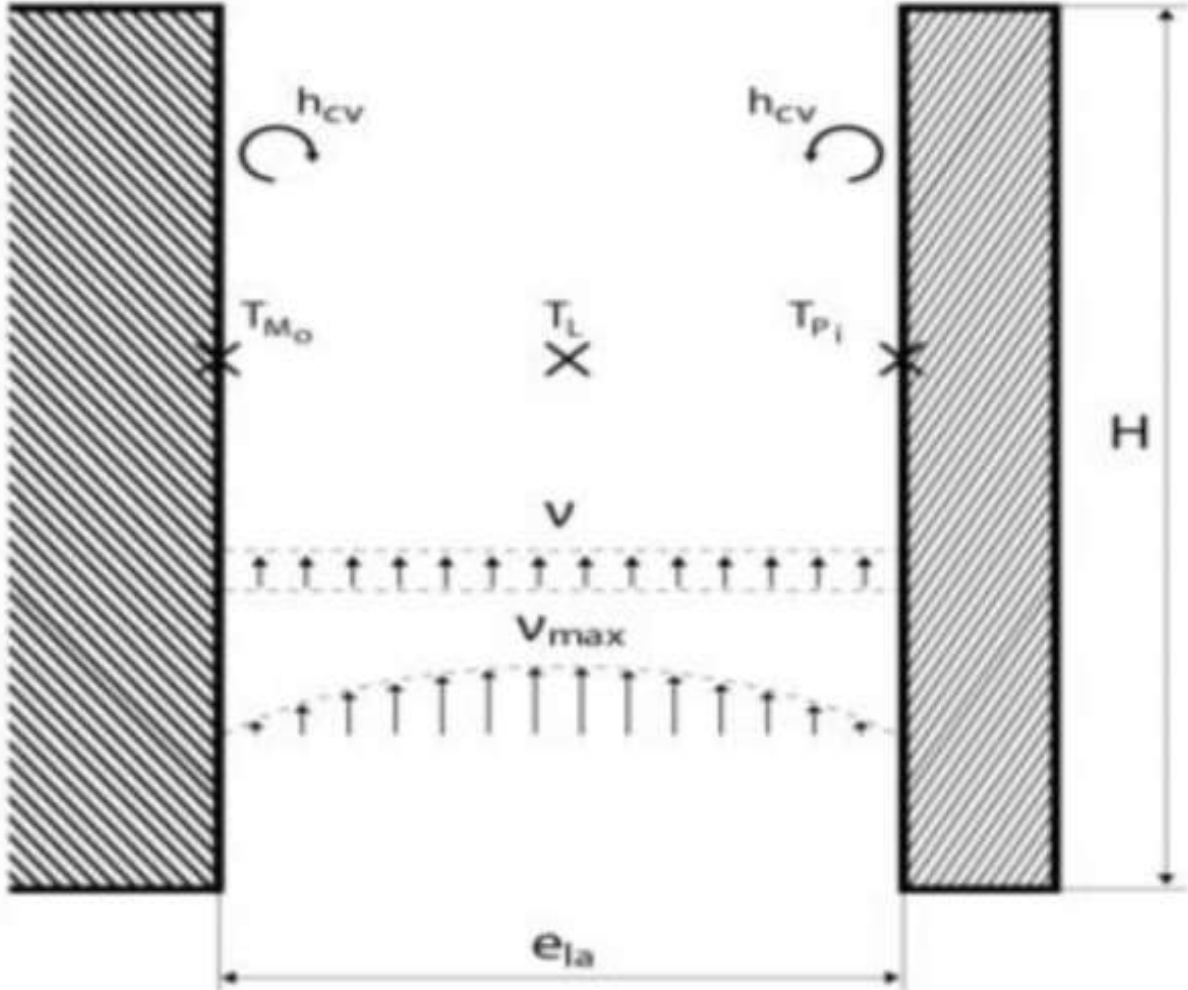


Figure 2. 12: Illustration du profil d'écoulement vertical et de la vitesse moyenne dans une cavité chauffée

Pour la convection naturelle entre deux plaques verticales chauffées asymétriquement, le débit dépend essentiellement de la forme de la cavité, de la chaleur totale fournie à l'air, et de sa distribution, Aung et al.(1972). Les nombres sans dimension caractéristiques sont ceux de Rayleigh, de Prandtl et le rapport de forme de cavité (rapport de l'épaisseur et la hauteur de la lame d'air). Ici, on peut considérer que le nombre d'air de Prandtl comme une constante égale à 0.71. Le nombre de Rayleigh caractérise la transmission au sein d'un fluide, c'est-à-dire le type d'écoulement. Inférieur à une première valeur limite, le transfert est fondamentalement conductif, au-delà de la convection, l'écoulement laminaire et enfin, au-delà d'une autre valeur critique, il y écoulement turbulent.

Le nombre de Rayleigh se calcule à partir du nombre de Grashof .Pour la convection naturelle, qui prend place entre deux plaques verticales, associé à un mouvement de renouvellement d'air sur toute la hauteur H, comme sur la figure (Figure2.15), le nombre de

$$Ra_H = Gr_H * Pr \quad (2.13)$$

Rayleigh est donné par :

$Ra_H$  nombre de Rayleigh sans dimension

$Gr_H$  nombre de Grashof sans dimension

Pr: nombre Prandtl sans dimension

Les échanges convectifs à l'interface solide-air sont décrits par le nombre de Nusselt, qui

$$Nu = \frac{h L_c}{\lambda_{air}} \quad (2.14)$$

pour l'écoulement entre deux plaques est défini par :

Avec :

Nu: nombre de Nusselt ( $W/m^2.K$ )

h: coefficient du transfert thermique ( $W/m^2.K$ )

Le longueur caractéristique (m)

$\lambda_{air}$  conductivité thermique du fluide ( $W/m.K$ )

### 2.4.3 Approche numérique CFD

L'approche numérique inclue l'utilisation de Navier-Stokes sous certaines hypothèses simplifiées pour déterminer la vitesse d'écoulement du flux d'air entre deux plaques chauffées asymétriquement. Par conséquent, les équations de conservation de la masse, de la vitesse et de l'énergie sont ainsi utilisées.

Depuis le premier modèle numérique des années 1960, deux méthodes numériques ont été utilisées. La première par Aung et al.(1972) et Kraiser et al.(2004) sur l'approximation de Boussinesq en considérant tous les paramètres physiques constants, à l'exception de densité volumique. La réécriture des équations de Navier-Stokes posera alors un problème dont les solutions peuvent être calculées numériquement simplement.

La deuxième considère les équations de Navier-Stokes avec des paramètres non constants, tels que le font Kaiser et al.(2004) et Gan en (1998) et (2006). Cette méthode devient possible grâce au développement des outils de calcul informatique, et les techniques de résolution de la CFD.

Pour Aung et al. (1972) le terme moteur comme étant la différence de température de surface des plaques et la température de l'air extérieur, ou les flux de chaleur au niveau des plaques à l'interface entre le solide et l'air. Le nombre de Grashof est alors défini en conséquence. De la même façon, des études de CFD considèrent comme conditions à limite de la lame d'air soit des températures fixes comme le font Chami et Zoughaib (2010), soit des flux comme Gan (2011).

Ensuite, le nombre de Nusselt et le débit sont calculés pour différents nombres de Rayleigh et de rapports de forme. Des corrélations, pour le coefficient de convection et la vitesse d'air moyenne sont ensuite proposées. Aung et al.(1972) réalisent un certain nombre de calculs pour des nombres de Rayleigh et débits choisis. Ils constatent alors des relations asymptotiques entre nombre de Rayleigh et nombre de Reynolds, nombre de Rayleigh d'une part et nombre de Nusselt.

Zamora et Kaiser (2009) étudient l'écoulement (laminaire et turbulent) dans une cheminée solaire pour différents nombres de Rayleigh et différents rapports de forme, en utilisant un

code numérique. Des corrélations donnant la valeur de rapport de forme qui maximise le nombre de Nusselt, pour de valeurs de nombre de Rayleigh comprises entre 105 et 1012 ont été établies. Plus le nombre de Rayleigh est levé, plus le rapport de forme doit être faible pour maximiser les échanges convectifs. Le débit maximal n'est pas atteint pour la valeur maximale du Nusselt, ce qui s'explique par le fait qu'en régime turbulent, des inversions d'écoulement prennent place, favorisant les échanges convectifs mais pas le renouvellement d'air.

Gan (2011) étudie les cheminées solaires et fournit des expressions générales permettant de calculer d'une part, le nombre de Nusselt en fonction du rapport de forme et du nombre de Rayleigh, et d'autre part le nombre de Reynolds en fonction du nombre de Rayleigh et du nombre de Nusslet, permettant ainsi d'obtenir le débit. Il décompose ces relations sur les intervalles sur lesquelles elles sont valables. Il faut noter que ces relations sont valables pour des flux allant de 100 à 1000 W/m<sup>2</sup>. Aussi pour des déperditions variées des flux entre les deux surfaces de la cavité. Ces méthodes ont pour avantage une description fine de tout l'écoulement dans la lame d'air, elles permettent aussi d'analyser la nature de l'écoulement de manière locale et notamment sa possibilité d'hétérogénéité le long du canal. Mais ces résultats sont établis pour des configurations et des entrées spécifiques, limitant de ce fait leur exploitation pour la modélisation des échanges dans des configurations réelles de protections solaire.

## 2.5 CONCLUSION

Les installations solaires thermiques pourraient satisfaire jusqu'à 70% des besoins en eau chaude sanitaire et 50% des besoins en chauffage d'un foyer, dans une zone disposant d'un bon rayonnement solaire.

Dans ce chapitre, nous avons présenté différents systèmes solaires passifs de façade.

Le mur Trombe est avant tout un système de chauffage ou de rafraîchissement solaire, il faut absolument que le capteur soit isolé de la maison (pour éviter la surchauffe en été), et la déperdition la nuit. Son fonctionnement est principalement diurne, il s'utilisera donc bien pour les établissements ne fonctionnant pas la nuit (écoles, bureau



## **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

---

Le mur Trombe, également appelé mur Trombe-Michel est particulièrement adapté aux constructions bioclimatiques dont le but est de limiter les besoins en chauffage et d'utiliser de manière optimale les ressources énergétiques propres.

Pour assurer un bon confort thermique avec une énergie propre (énergie solaire), on a fait une simulation numérique pour modèle: mur trombe simple qui est déjà étudié dans la littérature et un mur trombe cannelé qui présente une nouvelle configuration des murs Trombe.

La dynamique des fluides computationnelle (CFD) a été utilisée pour la simulation du flux d'air dans mur trombe.

La comparaison des résultats de ce modèle est basée sur la comparaison de la température et de la vitesse à la sortie du mur et pour les temps.

. Cela est réalisé en prenant en considérons que l'écoulement est stable en passant d'un temps à un autre (écoulement stationnaire).

Une amélioration significative de la température à la sortie du mur est constatée pour le modèle du mur. Pour un temps de 240s, la température moyenne passe de  $T=303.692$  K pour le mur simple à  $T=343.766$  K.

L'influence de l'intensité du flux de chaleur reçu par le mur Trombe sur la température à la sortie est significative : Plus le flux de chaleur augmente plus la température à la sortie de mur augment.

Le mur est l'élément le plus crucial dans un mur Trombe destiné pour le stockage thermique. Notre modèle, que nous avons réalisé, nous a permis une bonne amélioration de l'échange thermique Une étude expérimentale sur notre modèle numérique et fortement recommandé pour les futurs travaux. D'autres paramètres peuvent être étudiés tels que la variation des dimensions des cannelures, fabriqué les cannelures par des matériaux très conductrices de la chaleurs (cuivre, aluminium, etc..) pour assurer un échange de chaleur optimale

## **BIBLIOGRAPHIES**



- [1] A. B. Stambouli, "Promotion of renewable energies in Algeria: Strategies and perspectives," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 2, pp. 1169–1181, 2011.
- [2] A. B. Stambouli, Z. Khiat, S. Flazi, and Y. Kitamura, "A review on the renewable energy development in Algeria: Current perspective, energy scenario and sustainability issues," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 7, pp. 4445-4460, 2012.
- [3] H. Mahmoudi, O. Abdellah, and N. Ghaffour, "Capacity building strategies and policy for desalination using renewable energies in Algeria," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 4, pp. 921-926, 2009.
- [4] Y. Himri, A. BoudgheneStambouli, and B. Draoui, "Prospects of wind farm development in Algeria," *Desalination*, vol. 239, no. 1-3, pp. 130-138, 2009.
- [5] Bulletin des Énergies Renouvelables - N° 22 2012 Centre de Développement des Énergies Renouvelables -Ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique).
- [6] Salomon, S et Bedel, S. La maison des méga watts, Le guide malin de l'énergie chez. Terre vivante. 2004.
- [7] Schneider Electric. Le livre blanc de l'efficacité énergétique. février 2011.
- [8] Mémoire technique du bâtiment, confort technique, CERTU - 2003
- [9] Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE Standard 55 - 2004
- [10] DTR C3.2/4 'Document Technique Réglementaire, Règlementation Thermique Algérienne du Bâtiment', CNERIB, 2016.
- [11] J.L. Barras «< Cours de Physique >>. Collège du Sud, Bulle. Avril 2001.
- [12] Joseph Fourier, Théorie analytique de la chaleur, 1822 .Édouard Leroy, «< Sur l'intégration des équations de la chaleur >>, ASENS, 3° série, t. 14, 1897, p. 379-465
- [13] Appellation recommandée par la Commission internationale de l'éclairage (anciennement émittance énergétique)
- [14] C. Long & N. Sayma. «< Heat Transfer >>. Chris Long, Naser Sayma & Ventus Publishing APS ISBN 978-87-7681-432-8. 2009.

## Annex

---

Pour commencer, nous avons rassemblé le matériel nécessaire pour créer un mur de trombe :

Colorant isolant thermique et colorant noir

Le verre absorbe la chaleur

Isolation entre l'appareil et le mur

Tube de chemini

On a peint le mur avec un matériau isolant, puis on l'a peint en noir Nous avons créé une structure en acier d'une hauteur de 1,6 mètre et d'une largeur de 0,9 mètre Nous avons fixé le verre au cadre avec de la colle isolante et non perméable Nous avons soulevé notre cadre et l'avons fixé au mur Nous avons installé le matériau isolant entre le mur et l'appareil



Annex

---



